

Федорев Сергей Александрович, аспирант

Гоман Виктор Валентинович, аспирант

Научный руководитель: Сарапулов Федор Никитич, проф., д-р техн. наук

Научный консультант: Иваницкий Сергей Валентинович, доц., канд. техн. наук

АППРОКСИМАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

При учете насыщения элементов магнитной цепи асинхронного двигателя (АД) в рамках метода детализированных схем замещения (МДСЗ) важной задачей является выбор метода аппроксимации кривых намагничивания, которые приводятся в справочниках в табличном виде [1, 3]. Известные аналитические зависимости для некоторых видов сталей либо дают значительные погрешности, либо являются слишком сложными.

При автоматизации проектирования асинхронных двигателей по общепринятым методикам [1, 3] и расчете параметров детализированных схем замещения (с использованием тех же методик), помимо аппроксимации кривых намагничивания существует задача аппроксимации множества экспериментальных кривых, заданных графически. Те же затруднения возникают при расчете любого вида трансформаторов по известным методикам.

При учете насыщения в рамках МДСЗ существует также задача экстраполяции, т.к. в ходе отладки программы или исследования несуществующих конструкций могут быть получены значения магнитной индукции или напряженности магнитного поля, выходящие за пределы значений справочных кривых.

Задачу аппроксимации можно разделить на несколько этапов:

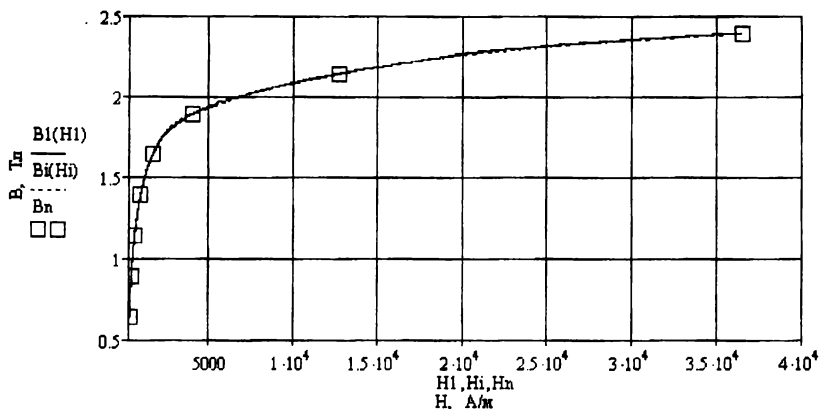
1. Определение метода (кусочно-линейная или сплайн-интерполяция, один из видов регрессии и т.д.);
2. Определение рационального числа точек (узлов интерполяции);
3. Определение расположения точек на кривой.

Наличие второго этапа связано с тем, что кривые намагничивания в справочниках задаются в таблицах по приблизительно 200 точкам, другие экспериментальные зависимости представлены в виде графиков. В первом случае переносить все точки в электронный вид, хранить и обрабатывать их в памяти компьютера нецелесообразно, во втором случае выбор количества точек при переводе графиков в табличный (электронный) вид зависит от создателя программы. Поэтому самое простое на первый взгляд решение - взять побольше точек и соединить их участками линий - неприемлемо [2].

Наличие третьего этапа связано с тем, что погрешность интерполяции сильно зависит от положения точек. Их целесообразно выбирать, принимая во внимание характерные участки кривых.

Автоматический алгоритм, выбирающий каждую n -ю точку из исходных табличных данных, приводит к значительным ошибкам интерполяции на нескольких крайних точках кривой. Он также не учитывает характер кривых, что в случае применения сплайнов приводит к заметным ошибкам на линейных участках кривых, особенно при больших промежутках между точками, а в слу-

чае кусочно-линейной интерполяции значительные ошибки возникают на изгибах («колена» кривой намагничивания). Поэтому выбирать точки целесообразно либо вручную, либо с помощью полуавтоматического алгоритма, определяющего границы характерных участков путем оценки скорости изменения функции.



Кривая намагничивания стали 2211

$B_l(H_l)$ - кривая, построенная по справочным данным
 $B_n(H_n)$ - аппроксимирующая кривая, построенная по n точкам
 (B_n, H_n) - выбранные точки

При интерполяции кривых намагничивания были получены следующие значения среднеквадратической и максимальной погрешностей:

- для числа точек $n=8$ (рисунок): при кусочно-линейной интерполяции: 2,53 и 2,91 % соответственно; при сплайн-интерполяции: 0,41 и 0,62 %;
- для числа точек $n=20$: при кусочно-линейной интерполяции: 0,43; и 0,67%; при сплайн-интерполяции: 0,26 и 0,32%.

Дальнейшее увеличение числа точек незначительно уменьшает погрешности. Также стираются различия между различными методами.

Основываясь на результатах, полученных для кривых намагничивания, а также для других типовых зависимостей, принято решение аппроксимировать (в т. ч. переводить в электронный вид) экспериментальные кривые по 10-12 точкам, выбираемым с учетом особенностей кривой.

При решении описанной задачи представляет интерес приложение «Подгонка кривых» (Curve fitting) пакета MatLab. Помимо него используются встроенные функции пакета Mathcad. Параллельное использование двух программных средств связано с тем, что программные комплексы моделирования и проектирования электрических машин разрабатываются в этих двух средах. Поэтому результаты работы должны быть представлены в виде, пригодном для использования разными творческими группами.

В данный момент создается набор (библиотека) файлов с исходными данными кривых намагничивания сталей (в формате Excel и txt) и библиотека функций считывания и обработки их в средах Mathcad и MatLab.

Также осуществляется внедрение в учебный процесс: задача исследования свойств и алгоритмов построения аппроксимирующих функций нашла применение в учебном процессе на кафедре АТПС НТИ УГТУ–УПИ в следующих дисциплинах: «Моделирование систем», «Идентификация объектов управления», «Научно-исследовательская работа студента». Описанные алгоритмы и результаты используются и развиваются в дипломных проектах студентов специальностей ЭАПУ и ПМ, посвященных автоматизации проектирования асинхронных двигателей и трансформаторов различного назначения.

Еще одна возможная область применения результатов работы – «быстрое» построение механической характеристики с использованием интерполяции. В разрабатываемом программном комплексе ее расчет по статической модели, для двигателя с большим числом пазов (90), занимает около 10 секунд по 200 точкам. При дальнейшем развитии (детализации) модели, уже в ближайшее время расчет будет занимать десятки минут машинного времени даже на современном компьютере. Поэтому предлагается, предварительно убедившись в том, что механическая характеристика двигателя не искажена паразитными моментами (линейный асинхронный двигатель), производить расчет для 20-30 точек. Сглаженную кривую, т.е. промежуточные точки (в количестве 200 и больше) получать при этом с помощью интерполяции сплайнами, что намного быстрее, чем полный расчет точки.

Библиографический список

1. Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин. М.: Высш. шк, 2001.
2. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования: Учебное пособие для вузов /О.Д. Гольдберг, О.Б. Буль, И.С. Свириденко, С.П. Хелемская; Под ред. Гольдберга О.Д. М.: Высш. шк, 2001.
3. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под ред. И.П. Копылова. 3-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк, 2002.
4. Численные методы. Использование MATLAB. 3-е изд.: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001.